

## Hormigón reforzado con vidrio molido para controlar grietas y fisuras por contracción plástica

### Reinforced concrete with ground glass to control cracks and cracks by plastic contraction

Dr. Carlos Magno Chavarri Vallejos<sup>1</sup>; Dr. (c) Liliana Janet Chavarría Reyes<sup>2</sup>;  
Dr. Andrés Avelino Valencia Gutiérrez<sup>3</sup>; Dr.(c) Enriqueta Pereyra Salardi<sup>4</sup>;  
Ing. Jean Paul Arieta Padilla<sup>5</sup>; Ing. César Augusto Rengifo Salazar<sup>6</sup>  
{[cchavarriyvallejo@hotmail.com](mailto:cchavarriyvallejo@hotmail.com); [liliana.chavarria@urp.edu.pe](mailto:liliana.chavarria@urp.edu.pe);  
[avalenciag@usmp.pe](mailto:avalenciag@usmp.pe); [enriqueta.pereyra@urp.edu.pe](mailto:enriqueta.pereyra@urp.edu.pe);  
[arietajean@gmail.com](mailto:arietajean@gmail.com); [cesar.rs.1794@gmail.com](mailto:cesar.rs.1794@gmail.com)}

**Fecha de recepción:** 4 de enero de 2020 — **Fecha de aceptación:** 7 de febrero de 2020

**Resumen:** Se diseña y se hace referencia de forma escalonada mediante ensayos de laboratorio la presencia de fisuras y grietas en losas apoyadas. Se incorpora vidrio molido para controlar la contracción plástica con distintas dosificaciones de vidrio molido de coloración verde y marrón, adoptando 4 tipos de mezcla (1% y 5% en relación al volumen del agregado fino), ensayadas a compresión, flexión y fisuración, para una resistencia  $f'_c=210 \text{ Kg/cm}^2$ . El método empleado fue el deductivo con orientación aplicada y enfoque cuantitativo. El instrumento de recolección de datos fue retrolectivo, descriptivo, correlacional y explicativo. El diseño fue el experimental, longitudinal, prospectivo y el estudio de cohorte (causa-efecto). Los resultados obtenidos muestran que en los ensayos de potencial de fisuración en losas, cuando se le incorpora 1% de vidrio molido (verde o marrón), disminuyen un 83,32% y 85.18% respectivamente; así mismo, con 5% de vidrio molido (verde o marrón) disminuye un 85.82% y 88.88% respectivamente. Para esta investigación, se concluye que el vidrio molido aporta significativamente a la reducción de fisuras y grietas en una losa de hormigón y, por consiguiente, controla la contracción plástica.

**Palabras clave** — *Vidrio molido, reducción de fisuras, contracción plástica, diseño de hormigón, losas apoyadas, resistencia a la compresión, resistencia a la flexión, potencial de fisuración.*

**Abstract:** The presence of cracks and cracks in supported slabs is designed and referenced in a staggered manner by laboratory tests. Ground glass is incorporated to control the plastic shrinkage with different dosages of green and brown colored ground glass, adopting 4 types of mixture (1% and 5% in relation to the volume of the fine aggregate), tested for compression, bending

<sup>1</sup>Universidad Nacional Federico Villarreal, Lima, Perú.

<sup>2</sup>Universidad Ricardo Palma, Lima, Perú.

<sup>3</sup>Universidad Nacional Federico Villarreal, Lima, Perú.

<sup>4</sup>Universidad Ricardo Palma, Lima, Perú.

<sup>5</sup>Universidad Ricardo Palma, Lima, Perú.

<sup>6</sup>Universidad Ricardo Palma, Lima, Perú.

#### Cómo citar:

Chavarri Vallejos, C., Chavarría Reyes, L., Valencia Gutiérrez, A., Pereyra Salardi, E., Arieta Padilla, J., & Rengifo Salazar, C. (2020). Hormigón reforzado con vidrio molido para controlar grietas y fisuras por contracción plástica. Pro Sciences, 4(31), 31-41. <https://doi.org/10.29018/issn.2588-1000vol4iss31.2020pp31-41>

and cracking, to a resistance  $f'_c = 210 \text{ Kg/cm}^2$ . The method used was the deductive with applied guidance and quantitative approach. The data collection instrument was retrolective, descriptive, correlational and explanatory. The design was the experimental, longitudinal, prospective and cohort study (cause-effect). The results obtained show that in the tests of cracking potential in slabs, when 1% of ground glass (green or brown) is incorporated, they decrease by 83.32% and 85.18% respectively; likewise, with 5% ground glass (green or brown) decreases 85.82% and 88.88% respectively. For this investigation, it is concluded that the ground glass contributes significantly to the reduction of cracks and cracks in a concrete slab and therefore controls the plastic shrinkage.

**Keywords** — *Ground glass, crack reduction, plastic shrinkage, concrete design, supported slabs, compressive strength, flexural strength, cracking potential.*

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad el uso del hormigón es vital para cada una de las obras de construcción, no obstante, se ha podido apreciar en toda construcción la presencia de fisuras o grietas en sus acabados. El uso de vidrio molido es un complemento no muy utilizado, ya que por el momento no se conoce todas las bondades del uso de este en la preparación de un hormigón en la construcción. En obras de ingeniería se busca que los materiales a utilizar mejoren e incrementen la vida útil de las construcciones, para eso se tiene que buscar insumos que mejoren la calidad de vida y el desempeño de los mismos, por eso mediante el uso de vidrio molido en la mezcla de hormigón mejora sus propiedades mecánicas. El vidrio molido se ha utilizado como una forma de refuerzo en la mezcla de hormigón y mediante este sistema de reciclaje darle un uso más al vidrio y disminuir la contaminación ambiental. En el presente estudio se usó como alternativa el vidrio molido de color verde y marrón en las dosificaciones de 1% y 5% en función del volumen del agregado fino cumpliendo con las especificaciones técnicas del hormigón convencional. Se han citado innovadoras investigaciones que apuntan a reducir el impacto ambiental que origina la industria del hormigón, específicamente mediante el uso de material reciclado como agregado, principalmente el uso de desechos de vidrio en general, neumáticos, plásticos y desechos de hormigón, entre otros. Chen, Que, Zheng, Li, y Sun (2020), mencionan que las barras de polímero reforzado con fibra de vidrio (GFRP) son seguras, ligeras y respetuosas con el medio.

Ristic, Grdic, Curcic, Grdic y Krstić (2019), afirman que el rápido desarrollo tecnológico e industrial de las últimas décadas ha causado considerables problemas ambientales, y uno de los más importantes es, sin duda, la eliminación y el reciclado de materiales de desecho y subproductos de la producción industrial. Dado que el hormigón es un material compuesto, los materiales de desecho se pueden usar adecuadamente en su composición. Diversos problemas se exhiben en la construcción, uno de los más resaltantes son las grietas o fisuras que se presentan desde la derivación de tensiones que desarrolla el material mismo por retracciones térmicas o hidráulicas. Tiberti, Mudadu, Barragan, y Plizzari (2018), sostienen que el rendimiento post-fisurado proporcionado por las macrofibras de vidrio en aberturas bajas de fisuras es particularmente conveniente en estructuras, refiriéndose a las condiciones de servicio, es bien sabido que la contracción del hormigón, así como los efectos térmicos, tienden a ser las principales razones de la formación inicial de agrietamiento por contracción en losas con soporte de suelo. Se presta especial atención a la evaluación de los efectos beneficiosos de las fibras de vidrio en el control de los fenómenos de agrietamiento debido a la contracción.

Según, Mignon, Snoeck, Dubrue, VanVlierberghe y De Belie (2017), en su estudio mencionan que las grietas pueden surgir por contracción, congelación/descongelación y/o tensiones estructurales,

entre otras. Se pueden encontrar varias soluciones, pero los polímeros súper absorbentes parecen ser interesantes para contrarrestar estos problemas. Otros investigadores como Chen y Wang (2020), estudiaron la posibilidad de inhibir la contracción del mortero mediante la incorporación de fibra de polipropileno en un 0.05%, 0.1%, 0.15% y 0.2% para evaluar las propiedades de trabajo, físicas (porosidad, absorción de agua y densidad aparente), mecánicas y resistencia al impacto de los morteros. Christiansen y Dymond (2019), indican que algunas mezclas con vidrio superaron la resistencia a la compresión de la mezcla patrón (0% vidrio), y la mayoría de las mezclas que contenían 20% de vidrio alcanzaron mayores resistencias a la compresión que las que tenían 30%. Yang, Yuan, Lin, Ran, Dai, Chu y Liu (2019), investigaron los principales factores que afectan el rendimiento del vidrio molido utilizado como puzolana en hormigón de cemento Portland incluyen la composición química, la distribución del tamaño de partícula y el nivel de reemplazo.

Castillo y Quispe (2019), realizaron una investigación que tuvo como objetivo principal analizar el comportamiento del hormigón mediante el reemplazo parcial del cemento Wari tipo I, por vidrio molido y/o cuarcita en porcentajes de 5%, 10%, 15%, 20% y 25% en peso para obtener una resistencia de  $f'_c=210 \text{ kg/cm}^2$ , con la finalidad de establecer una comparación entre un hormigón patrón y un hormigón en el cual, el cemento es reemplazado por vidrio molido y/o cuarcita, mediante ensayos a distintas mezclas de probetas de hormigón. Se obtuvieron valores a la resistencia a compresión para edades de 3, 7, 14, y 28 días, así como ensayos de resistencia a la flexión y tracción indirecta a los 28 días. Los resultados obtenidos determinaron que la mezcla en donde se reemplazó el 5% de cemento por vidrio molido obtuvo un mejor comportamiento del hormigón a la resistencia de diseño a edades tempranas, además de proveer una mejor trabajabilidad y adherencia en sus componentes, estableciendo de esta manera que el vidrio molido al 5% puede ser empleado como un material que aporte al desarrollo de la construcción sostenible.

Bawi, Kadhim, y Kerttani (2017), estudiaron los efectos de diferentes proporciones del vidrio residual de color verde sobre las propiedades mecánicas del hormigón autocompactado, utilizando residuos de botellas que fueron recolectadas, lavadas, trituradas, tamizadas y trituradas, para ser incorporadas en diferentes porcentajes (0%, 20%, 40%, 60%, 80% y 100% en peso) en lugar de agregado fino natural y/o agregado grueso natural. Aspectos mecánicos como la compresión, la tracción y las resistencias a la flexión neta y el módulo de elasticidad de los hormigones autocompactantes fueron investigados y calculados experimentalmente a los 28 días de edad.

El objetivo del presente estudio es realizar mezclas de hormigón con diferentes porcentajes de vidrio molido (1% y 5%), para mejorar las propiedades mecánicas induciendo al incremento de las resistencias de tal manera de controlar la fisuración y el agrietamiento por efecto de la contracción plástica, teniendo como componentes cemento Portland tipo I, agregados, agua y vidrio molido de dos tipos de coloración (verde y marrón).

## METODOLOGÍA

El método de la investigación es el deductivo porque las variables vidrio molido y contracción plástica van a surgir de un marco conceptual, para ser operacionalizadas y relacionadas, con la finalidad de plantear las hipótesis alternas y nulas de la investigación. La orientación es aplicada, porque se pretende controlar la contracción plástica del hormigón con la finalidad de evitar grietas y fisuras. El enfoque cuantitativo dado que se presentan los resultados en porcentajes de incorporación de vidrio molido y sus efectos con relación a la resistencia mecánica y la reducción potencial de fisuras y grietas. El instrumento de recolección de datos es retrolectivo dado que se utilizaron formatos y/o fichas de propiedad del laboratorio de la Universidad Ricardo Palma.

El trabajo agrupa las condiciones de tipo: Descriptivo-Correlacional y Explicativo, porque indica el comportamiento mecánico del hormigón durante el proceso del desarrollo de las pruebas en el laboratorio indicando la causa (porcentaje de vidrio molido) y el efecto (reducción de la contracción plástica), para especificar si hay reducción de grietas y/o fisuras. Es de nivel descriptivo porque se establecen los procedimientos adecuados, según la norma para la obtención de la dosificación y/o el porcentaje promedio de vidrio molido de tal forma aumentar la resistencia del hormigón y reducir la contracción plástica. El diseño de acuerdo con la técnica de contrastación es experimental, debido a que se manipularon deliberadamente los porcentajes de vidrio molido entre el 1% y 5%, para las coloraciones verde y marrón. De acuerdo con la direccionalidad es longitudinal ya que se realizaron los ensayos correspondientes en tiempos periódicamente establecidos para cada prueba y la investigación es prospectiva porque la información obtenida para alcanzar los objetivos fue de fuente primaria. El estudio del diseño es de cohorte debido a que el fenómeno a estudiarse tiene causa en el presente (incorporación de vidrio molido) y efecto en el futuro (reducción de la contracción plástica).

### ***Población y muestra***

Está conformada por mezcla de 2 distintas dosificaciones para cada tipo de vidrio molido verde y marrón (1% y 5%), por cada muestra se elaboraron 24 probetas cilíndricas ensayadas a los 3, 7, 14 y 28 días (3 testigos por ensayo, total 48); además 8 vigas ensayadas a los 3, 7, 14 y 28 días (2 testigos por ensayo, total, 64). Finalmente se ensayaron 3 losas para cada dosificación a fin de medir el potencial de fisuración, en total se ensayaron 115 muestras.

### ***Variables***

La variable independiente es el vidrio molido, debido a que se incorporó dosificaciones del 1% a 5% de vidrio molido y se midió los efectos que tiene las propiedades mecánicas, mediante roturas a los 3, 7, 14 y 28 días, con la finalidad de saber si aumenta la resistencia del hormigón. La variable dependiente la contracción plástica, porque las grietas y fisuras están directamente relacionadas con el control de la contracción plástica, y que para el presente estudio está supeditado a los porcentajes de vidrio que se le incorpora a la mezcla.

### ***Técnicas e instrumentos de recolección de datos***

Se utilizó como instrumentos los formatos y fichas establecidos y aprobados por la Universidad Ricardo Palma, así como las máquinas para los ensayos de rotura, mezcladora de hormigón, balanza, tamices, horno, moldes cilíndricos, etc. La recolección de datos se realizó mediante los métodos establecidos por la Sociedad Americana para Pruebas y Materiales (ASTM), el diseño de mezcla con cemento del mercado peruano y los agregados de la cantera de la Unión de Concreteras S.A. (UNICON-Lurín). Los métodos y técnicas utilizados para el estudio fueron:

- Peso unitario de los agregados (MTC E 203-2000).
- Ensayo de resistencia a la flexión ASTM C78.
- Análisis granulométrico del agregado grueso (MTC E 204-2000).
- Peso específico, y absorción de agregados gruesos (MTC E 206-2000- NTP 400.021).
- Diseño de mezclas usando el método American Concrete Institute (ACI).
- Determinación del potencial de fisuración ASTM1579.
- Peso específico, y absorción de agregados finos (MTC E 205-2000).
- Porcentaje de humedad.
- Análisis granulométrico del agregado fino (MTC E 204-2000).
- Ensayos de resistencia a la compresión axial ASTM C39.

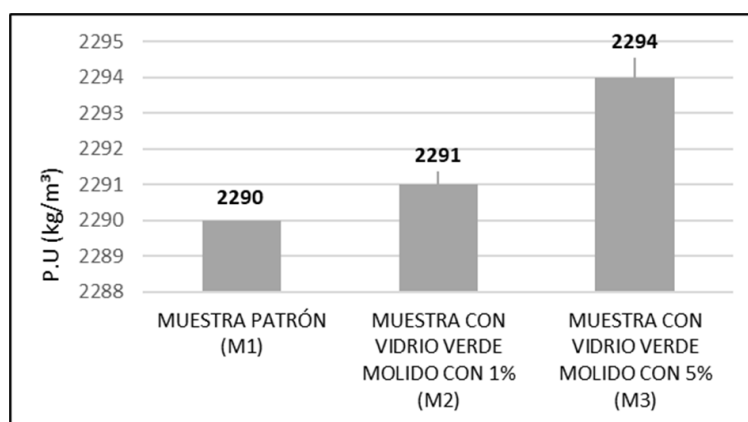
## RESULTADOS

### *Análisis de los agregados*

Análisis granulométrico del agregado fino (NTP 400.012), este método se empleó para determinar la distribución de tamaños de los agregados gruesos y finos, el cual es medido a través del peso retenido por los tamices progresivamente decreciente (mallas 3/8", N°4, N°8, N°16, N°30, N°50 y N°100). Las distribuciones deben cumplir los parámetros establecidos por la Norma Técnica Peruana NTP 400.037 y la norma ASTM C33. En el trabajo realizado por Alwael y Alshawaf (2019), manifiestan que existen varios tipos de residuos que han sido reciclados como sustituto de los agregados finos en la tecnología del hormigón. Indican además que el uso de residuos como reemplazo del agregado natural es el mejor método sostenible para encontrar formas alternativas de conservación del medio ambiente.

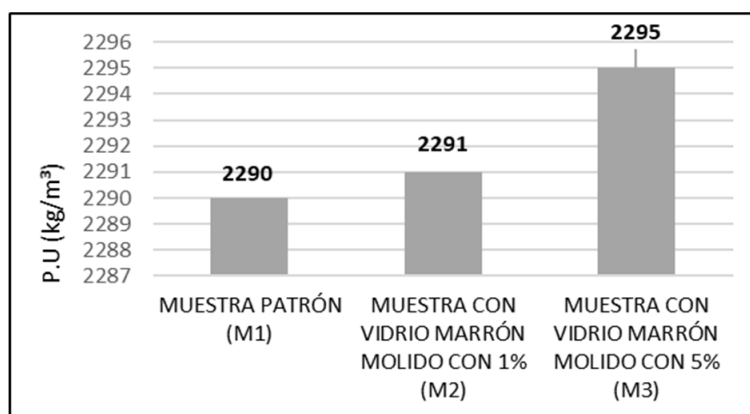
Los ensayos de asentamiento se realizaron siguiendo la Norma Técnica Peruana NTP 339.035 o ASTM C143, primero se coloca un molde húmedo sobre una superficie plana, conteniéndolo fijo con los pies en los estribos laterales del cono. Se llena 1/3 del volumen del cono con el material mezclado y se compacta con 25 golpes uniformes en forma espiral, luego este procedimiento se repite dos veces por cada 1/3 hasta enrazar el cono con la finalidad de poder ser retirado de la superficie. Se coloca la varilla de manera horizontal en la superficie del molde de manera invertida con la finalidad que esta varilla se extienda hasta la mezcla, la medida del slump se toma desde la parte superior de la mezcla hasta la parte inferior de la varilla. Se presentan los resultados del ensayo de asentamiento entre en la figura 1 y 2, en donde se muestra 3 ensayos para obtener un promedio del análisis granulométrico.

El ensayo de peso unitario o peso volumétrico del hormigón consiste en determinar el peso del hormigón por unidad de volumen. Según la NTP 339.046, se debe tener en conocimiento el peso y el volumen del molde específico para este ensayo, posteriormente luego del vaciado de la mezcla, se procede a llenar el molde cada 1/3 compactado 25 veces cada capa con una varilla aplicando a la vez 15 golpes con la comba de goma alrededor del molde para poder llenar los vacíos de cada capa, una vez llenado se enraza con la regla metálica y se limpia todo el contorno excedente de hormigón para luego pesarlo en la balanza electrónica. Obtenidos todos los datos se divide el peso entre el volumen del molde cuyo resultado es el peso unitario del hormigón tanto para el vidrio molido de color verde y marrón incorporando 1% y 5%. Los resultados se observan en las figuras 1 y 2:



**Figura 1.** Peso unitario del hormigón  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ , con vidrio molido verde

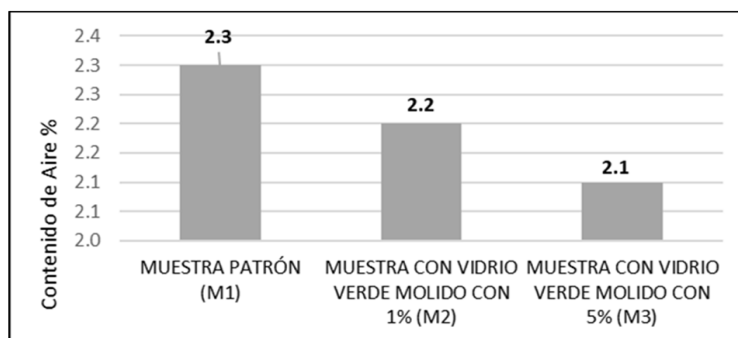
*Elaborado por: los autores*



**Figura 2.** Peso unitario del hormigón  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ , con vidrio molido marrón

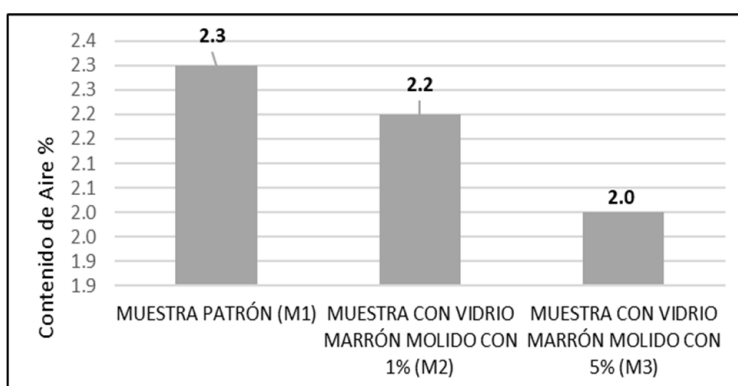
*Elaborado por: los autores*

El contenido de aire atrapado en el hormigón de manera porcentual según la NTP 339.080. Al producirse la mezcla de hormigón se prosigue a vaciar al molde en 3 capas simétricas con una compactación de 25 golpes cada una y entre 10 a 15 golpes al rededor del molde con una comba de goma con la finalidad de vibrar el hormigón, al terminar se enraza la superficie y se limpia los bordes de este. Se procede a tapar el molde ajustando todos los seguros a presión, luego se abren las válvulas para poder introducir agua al molde por la que en una de esas se inyectara agua hasta que emerja por la otra suavemente expulsando todo el aire del molde, seguidamente se cierran las válvulas de agua de tal manera que el recipiente quede hermético; bombear el aire con el pistón gradualmente hasta que la aguja del manómetro señale la presión inicial. Liberar la presión dentro del molde y tomar lectura del manómetro cuyos valores serán expresados en porcentaje, finalmente se evacua el aire del molde y se abren todos los seguros prosiguiendo con el desecho y la limpieza del molde. Los resultados se muestran en las figuras 3 y 4.



**Figura 3.** Contenido de aire (%) del hormigón  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ , con vidrio verde molido

*Elaborado por: los autores*



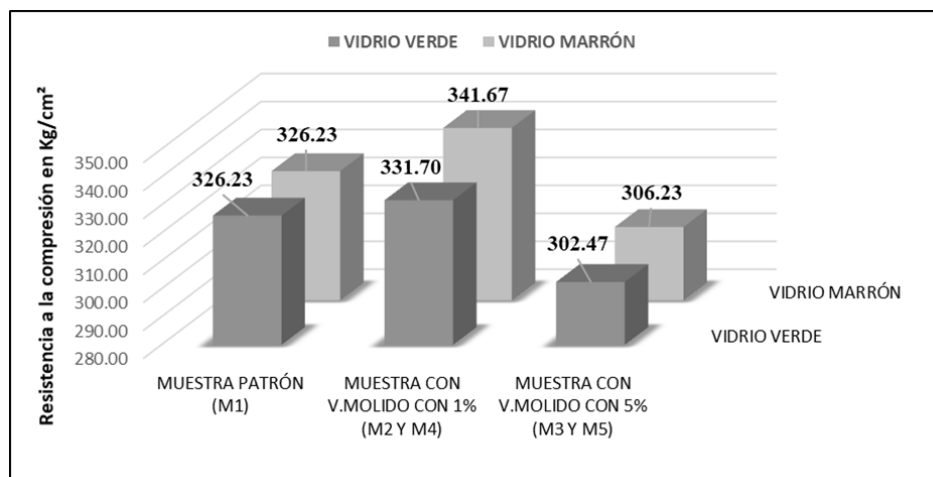
**Figura 4.** Contenido de aire (%) del hormigón  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ , con vidrio marrón molido

*Elaborado por: los autores*



### Ensayos de hormigón endurecido

Según la NTP 339.04, este ensayo a la compresión consiste en someter una carga axial a los moldes cilíndricos para originar la falla. La resistencia a la compresión de la probeta ensayada es calculada por la división de la carga máxima entre el área de la sección recta de la probeta. Los resultados de las pruebas ensayadas se muestran a continuación en la figura 5:

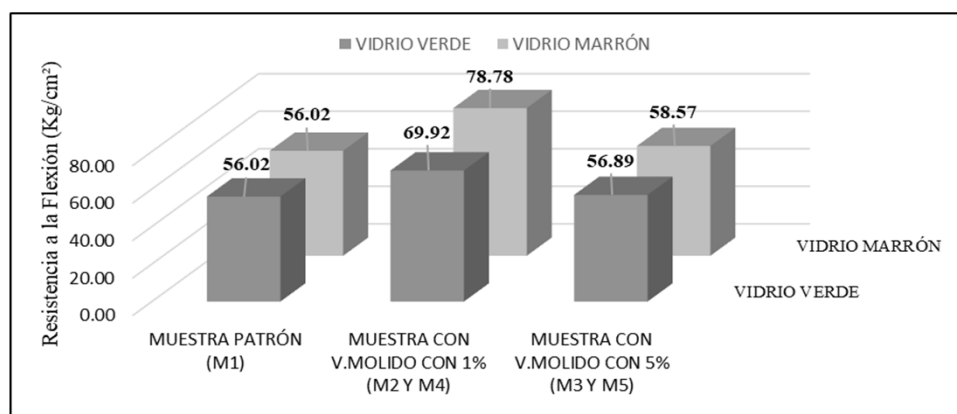


**Figura 5.** Resistencia a la compresión - hormigón  $f'_c=210$  kg/cm<sup>2</sup> (28 días)

*Elaborado por: los autores*

Las mezclas con dosificación con vidrio molido de color verde al 1% (del agregado fino), con ensayos a las edades de 3, 7, 14 y 28 días aumentaron su resistencia a la compresión llegando a los 28 días 1.68% mayor con respecto a la mezcla patrón, por otro lado, cuando se le incorpora un 5%, todos los ensayos disminuyen su resistencia llegando a los 28 días 7.28 % menor con respecto a la mezcla patrón. El mismo comportamiento se obtuvo cuando se le incorporó el vidrio molido de color marrón, su resistencia a la compresión con 1%, aumentaron llegando a los 28 días 4.73% mayor con respecto a la mezcla patrón y cuando se le incorporó 5% disminuyeron llegando a los 28 días 6.13% menor con respecto a la mezcla patrón (tabla 1).

La NTP 339.078 establece el procedimiento que se seguirá para determinar las resistencias a flexión en forma de vigas simplemente apoyadas y ensayadas con cargas que sean a los tercios de luz. Los resultados de las pruebas ensayadas se muestran a continuación en la figura 6:



**Figura 6.** Comparativo de resistencia a flexión (28 días)

*Elaborado por: los autores*

La mezcla con dosificación con vidrio molido de color verde y marrón al 1% y 5% (del agregado fino), con ensayos a las edades de 3, 7, 14 y 28 días su resistencia a la flexión con la incorporación de vidrio molido al 1% y 5% aumentaron llegando a los 28 días (del agregado fino) un 23.21% y 1.55% con respecto a la mezcla patrón (tabla 1).

### Presentación de resultados

En la siguiente tabla se presentan los resultados de los ensayos realizados en el laboratorio:

**Tabla 1.** Resistencia a la compresión, flexión y potencial de fisuración de un hormigón  $f'c=210$  kg/cm<sup>2</sup>. Resultados a los 28 días

Objetivos específicos	Indicador	Identificación					
<b>Determinar las dosificaciones de vidrio molido para aumentar las resistencias mecánicas del hormigón</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Resistencia mecánica del hormigón.</li> </ul>	<b>Compresión (kg/cm<sup>2</sup>)</b>					
		<b>Edad (días)</b>	<b>Diseño patrón</b>	<b>% Vidrio molido</b>			
				<b>Vidrio verde</b>		<b>Vidrio marrón</b>	
				<b>1%</b>	<b>5%</b>	<b>1%</b>	<b>5%</b>
		3	204	226	183	228	180
		7	279	283	252	286	247
		14	319	322	288	328	293
		28	326	332	302	342	306
		<b>Flexión (kg/cm<sup>2</sup>)</b>					
		<b>Edad (días)</b>	<b>Diseño patrón</b>	<b>% Vidrio molido</b>			
				<b>Vidrio Verde</b>		<b>Vidrio Marrón</b>	
				<b>1%</b>	<b>5%</b>	<b>1%</b>	<b>5%</b>
		3	35	46	35	55	39
		7	43	55	43	62	43
		14	45	63	45	71	47
		28	56	70	57	79	56
<b>Diseñar mezclas con vidrio molido para controlar la reducción del potencial de fisuración del hormigón</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Potencial de fisuración.</li> </ul>	<b>Potencial de fisuración</b>					
		<b>Muestras</b>	<b>Diseño patrón</b>	<b>% Vidrio molido</b>			
				<b>Vidrio Verde</b>		<b>Vidrio Marrón</b>	
				<b>1%</b>	<b>5%</b>	<b>1%</b>	<b>5%</b>
		1	68	11	9	11	7
		2	74	12	10	10	7
		3	68	12	11	10	9
<b>Objetivos general</b>	<b>Indicador</b>	<b>Identificación</b>					
<b>Realizar diseños de hormigón con vidrio molido para controlar la contracción plástica mediante ensayos de laboratorio.</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Dosificación de vidrio molido.</li> </ul>	Se diseñó mezclas con distintas dosificaciones de vidrio molido para mejorar las resistencias mecánicas del hormigón adoptando 4 tipos de mezcla con vidrio molido de coloración verde y marrón (1% y 5% en relación al volumen del agregado fino) con edades de 3, 7, 14 y 28 días, con la resistencia de hormigón $f'c= 210$ kg/cm <sup>2</sup> , que se ensayaron a compresión, flexión y potencial de fisuración.					
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Diseño de mezcla.</li> </ul>						

Elaborado por: los autores



**Interpretación de los resultados (Tabla 1)**

**Resultados de la resistencia mecánica del hormigón:** Los resultados de los ensayos a compresión, el vidrio molido verde y marrón a menor proporción (1%) aumenta la resistencia del diseño con respecto a la mayor proporción (5%), siendo la coloración marrón ( $f'c=326.23 \text{ kg/cm}^2$  a  $f'c=341.67 \text{ kg/cm}^2$ ) más aportante que la verde ( $f'c=326.23 \text{ kg/cm}^2$  a  $f'c=331.70 \text{ kg/cm}^2$ ) debido a que su distinta composición química influye en el aumento del diseño. Los resultados de los ensayos a flexión, el vidrio molido verde ( $56,02 \text{ kg/cm}^2$  a  $f'c=69.92 \text{ kg/cm}^2$ ) y marrón ( $f'c=56,02 \text{ kg/cm}^2$  a  $f'c=78.78 \text{ kg/cm}^2$ ) a menor proporción (1%) aumenta la resistencia del diseño con respecto a la mayor proporción (5%), siendo la coloración marrón más adherente cuando es sometido a flexión, debido a que el vidrio molido se comporta como una fibra adherente cuando es sometido a cargas.

**Resultados del potencial de fisuración:** Los resultados de los ensayos de potencial de fisuración, el vidrio molido verde y marrón a mayor proporción reduce las fisuras y grietas respecto al diseño un 86% y 89% respectivamente, siendo la coloración marrón la que más aporta para el control de éstas porque mientras sea más opaca la coloración se retarda la contracción plástica, ya que disminuye los rayos ultra violeta. Los ensayos de potencial de fisuración, el vidrio molido verde y marrón a menor proporción serían los mejores para el control de grietas y fisuras, ya que en relación a su resistencia mecánica el aporte es complementario.

**DISCUSIÓN**

Peñañiel (2016), ensayó a los 28 de edad, pruebas a la resistencia a la compresión arrojando los siguientes resultados  $f'c=227.73 \text{ kg/cm}^2$ ,  $f'c=224.09 \text{ kg/cm}^2$ ,  $f'c=223.66 \text{ kg/cm}^2$ ,  $f'c=221.68 \text{ kg/cm}^2$  y  $f'c=234.76 \text{ kg/cm}^2$ , con la adición de vidrio molido del 0%, 10%, 20%, 30% y 40% respectivamente, para una mezcla de diseño  $f'c=210 \text{ kg/cm}^2$ . Todas alcanzaron resistencia mayor al diseño y fueron decreciendo cuando se le incorporó 10%, 20%, 30% y 40%. En la presente investigación el vidrio molido color marrón obtuvo a la edad 28 días una resistencia a la compresión de 4.73% mayor con respecto a la mezcla patrón, cuando se le incorporó 1%, cuando se le aumentó la dosificación a un 5% la resistencia decreció un 6.13% con respecto a la mezcla patrón. El mismo comportamiento sucedió con el vidrio molido color verde aumento un 1.68% con 1% y decreció 7.28% cuando la dosificación varió un 5%.

Al comparar la resistencia a compresión axial con probetas de mortero cemento-arena 1:4 aumentan con el reemplazo del 5% de cemento por vidrio molido a partir de los 7 días en un porcentaje de 21.70% con respecto a la mezcla patrón y a los 28 días la resistencia a compresión se incrementa en un porcentaje de 19.27% con respecto a la probeta patrón; donde se puede notar una disminución leve de la resistencia a compresión en un porcentaje de 2.43% (Aleman, 2017), con respecto a la presente investigación hay una disminución de la resistencia a la compresión con respecto a la mezcla patrón al incorporar un 5% de vidrio molido en un 7.28% para el vidrio de color verde y un 6.13% para el vidrio de color marrón. Según Sirajuddin y Gettu (2018), las fibras de polipropileno y poliéster, a las dosis recomendadas de aproximadamente  $0,9 \text{ kg/m}^3$ , eliminaron completamente el agrietamiento en el hormigón más afectado (es decir, con un 30% de ceniza volantes y escoria granulada de alto horno), mientras que las dosis del poliácilonitrilo y las fibras de vidrio debían aumentarse para proporcionar un mayor volumen y de esta manera aumentar la resistencia. La dosificación propuesta con 1% de vidrio molido verde o marrón pesa  $8.90 \text{ kg/m}^3$  y para 5%  $44.50 \text{ kg/m}^3$ , que en ambos casos es mayor  $0,9 \text{ kg/m}^3$ , propuesta por Sirajuddin y Gettu (2018).

En la investigación realizada por Bawi, Kadhim y Kerttani (2017), demuestran que los hormigones que contienen vidrio molido de color verde muestran un comportamiento menos frágil que el hormigón, así mismo con los parámetros de fractura que influyen negativamente por la incorporación de la selección de color verde. Sin embargo, la mayor reducción de la resistencia a la compresión no superó el 43% registrado en el nivel de reemplazo del 100% color verde. En el presente estudio también se reflejó esa disminución de la resistencia a la comprensión del hormigón, porque incorporando hasta un 5% de vidrio molido la resistencia disminuyó 7.28% y 6.13%, para el vidrio de color verde y marrón respectivamente.

## CONCLUSIÓN

Al añadir vidrio molido a la mezcla de hormigón, se observa que para una resistencia a la compresión  $f'_c=210 \text{ kg/cm}^2$ , la mezcla patrón obtiene un  $f'_c=326.23 \text{ kg/cm}^2$ , y añadiéndole 1% y 5% de vidrio molido verde se obtiene una resistencia  $f'_c=331.70 \text{ kg/cm}^2$  y  $f'_c=302.47 \text{ kg/cm}^2$  respectivamente. Así mismo añadiéndole a la mezcla patrón 1% y 5% de vidrio molido marrón obtiene una resistencia  $f'_c=341.67 \text{ kg/cm}^2$  y  $f'_c=306.23 \text{ kg/cm}^2$  respectivamente, por lo tanto, el vidrio molido incrementa a la resistencia a compresión ( $f'_c$ ). Por otro lado, el ensayo a la flexión  $f'_c=210 \text{ kg/cm}^2$  la mezcla patrón obtiene una resistencia de  $f'_c=56.02 \text{ kg/cm}^2$  y añadiéndole 1% y 5% de vidrio molido verde obtiene  $f'_c=69.92 \text{ kg/cm}^2$  y  $f'_c=56.89 \text{ kg/cm}^2$  respectivamente. Así mismo añadiéndole a la mezcla patrón 1% y 5% de vidrio molido marrón se obtiene una resistencia de  $f'_c=78.78 \text{ kg/cm}^2$  y  $f'_c=58.57 \text{ kg/cm}^2$  respectivamente. Los resultados obtenidos en los ensayos de potencial de fisuración en losas, cuando se le incorpora 1% de vidrio molido (verde o marrón) disminuyen un 83,32% y 85.18% respectivamente, así mismo; con 5% de vidrio molido (verde o marrón) disminuyen un 85.82% y 88.88% respectivamente, esto quiere decir que el vidrio molido aporta significativamente a la reducción de fisuras y grietas en una losa de hormigón, por consiguiente, controla la contracción plástica.

### Limitaciones

Los agregados utilizados para fueron de la cantera de propiedad de UNICON, Flor de Nieve ubicado en la Panamericana Sur Km 40 (Lurín-Lima-Perú), que cumple con la Norma ASTM C33. La cantidad de especímenes para la muestra del hormigón estuvieron estimados según la norma para cada prueba en específico; adicionalmente, se seleccionó un diseño óptimo para la mezcla patrón, por las limitaciones de tiempo y materiales. No se han encontrado otras investigaciones que hayan estudiado el potencial de fisuración para diferentes tipos de coloración de vidrio molido.

### Recomendaciones

Verificar la relación a/c y la granulometría de los agregados para diferentes dosificaciones de vidrio molido, comprobando que la mezcla sea fluida sin llegar al estado líquido para una mayor trabajabilidad. Promover la investigación y aplicación del hormigón con incorporación de vidrio molido en zonas cálidas de tal manera de reducir la contracción plástica por influencia de las altas temperaturas que producen la evaporación de la humedad de la capa superficial de las estructuras. Realizar investigaciones de orientación tecnológica para alcanzar el funcionamiento correcto y la eficiencia de los procesos durante su diseño, fabricación, mezclado, empaquetado, almacenamiento, transporte, distribución, venta, suministro (colocación en obra) y servicio del hormigón con adición de vidrio molido, de tal manera que la mejora constante de nuevos productos (con incorporación de materiales para mejorar las propiedades mecánicas, químicas, biológicas y físicas) y procesos que permitan la obtención del conocimiento empírico para garantizar que las innovaciones presenten una determinada calidad de acuerdo a normas nacionales e internacionales.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AL-Bawi, R., Kadhim, I. T., y AL-Kerttani, O. (2017). “Strengths and failure characteristics of self-compacting concrete containing recycled waste glass aggregate”, *Advances in Materials Science and Engineering*, (12).
- Alemán, A. (2017). *Resistencia a compresión axial del mortero cemento – arena 1:4 con el reemplazo de vidrio molido*. Universidad Privada del Norte, Perú.
- Alwaeli, M., Alshawaf, M. (2019). Waste metoization, in: *Concrete Technology as a Substitute for Natural Aggregates in The Context of Circular Economy: An Overview*. Sofia: Surveying Geology & Mining Ecology Management (SGEM).
- Castillo Rodríguez, W., y Quispe Charca, J. A. (2019). *Propiedades Mecánicas del Hormigón elaborado con Adición de Vidrio Molido y Cuarzita*. Universidad Privada del Norte, Perú.
- Chen, Z., Que, M., Zheng, L., Li, X., y Sun, Y. (2020). “Effect of mortar constraint conditions on pullout behavior of GFRP soil nails”, *Advances in Materials Science and Engineering*, (11).
- Christiansen, M. U., y Dymond, B. Z. (2019). “Effect of composition on performance of ground glass pozzolan”, *ACI Materials Journal*, 116 (4), 89-98.
- Mignon, A., Snoeck, D., Dubruel, P., VanVlierberghe, S., y De Belie, N. (2017). Crack mitigation in concrete: Superabsorbent polymers as key to success. *Materials*, 10 (3), 237.
- NTP 339.035(2009). Hormigón (hormigón). Método de ensayo para la medición del asentamiento del hormigón de cemento Portland. Perú: Indecopi.
- NTP 400.012 (2001). Análisis granulometría del agregado grueso, fino y global
- NTP 400.012 (2001). Análisis granulometría del agregado grueso, fino y global
- NTP 400.021 (2013). Agregados. Método de ensayo normalizado para peso específico y absorción de agregado grueso. Perú: Indecopi.
- Peñafiel D. (2016). *Análisis de la resistencia a la compresión del hormigón al emplear vidrio reciclado molido en reemplazo parcial del agregado fino*. Universidad Técnica de Ambato, Ecuador.
- Ristic, N., Grdic, Z., Curcic, G. T., Grdic, D., y Krstić, D. (2019). “Properties of self-compacting concrete produced with waste materials as mineral admixture”, *Revista Romana De Materiales*, 49(4), 568-580. Retrieved from <https://search.proquest.com/docview/2335663656?accountid=43847>.
- Sirajuddin, M., y Gettu, R. (2018). “Plastic shrinkage cracking of concrete incorporating mineral admixtures and its mitigation”, *Materials and Structures*, 51 (2), 1-10.
- Tiberti, G., Mudadu, A., Barragan, B., y Plizzari, G. (2018). “Shrinkage cracking of concrete slabs-on-grade: A numerical parametric study. Fibers”, *Universidad De Michigan*, 6 (3).
- Yang, X., Yuan, Z., Lin, J., Ran, J., Dai, B., Chu, J., y Liu, H. (2019). “Effect of particle shape of glass beads on the strength and deformation of cemented sands”, *Acta Geotechnica*, 14 (6), 2123-2131.